

Faktenblatt

Februar 2019

Kernkraftwerke der dritten Generation

Wettbewerbsfähig bei höchster Sicherheit

In den vergangenen Jahrzehnten ist die Entwicklung fortgeschrittener Reaktortypen weltweit vorangetrieben worden. Heute werden auf dem Markt Reaktorsysteme angeboten, die höchsten Sicherheitsansprüchen genügen und zu wettbewerbsfähigen Preisen die Versorgungssicherheit beim Strom auch in Zukunft ermöglichen. Diese Kernkraftwerke der sogenannten dritten Generation bilden die Grundlage für die Neubauten der kommenden Jahre.

Wie jede andere Technik entwickelt sich auch die Kerntechnik immer weiter. Inzwischen werden vier Generationen von Kernkraftwerken unterschieden (siehe Grafik): Die erste Generation umfasst die frühen Prototypen

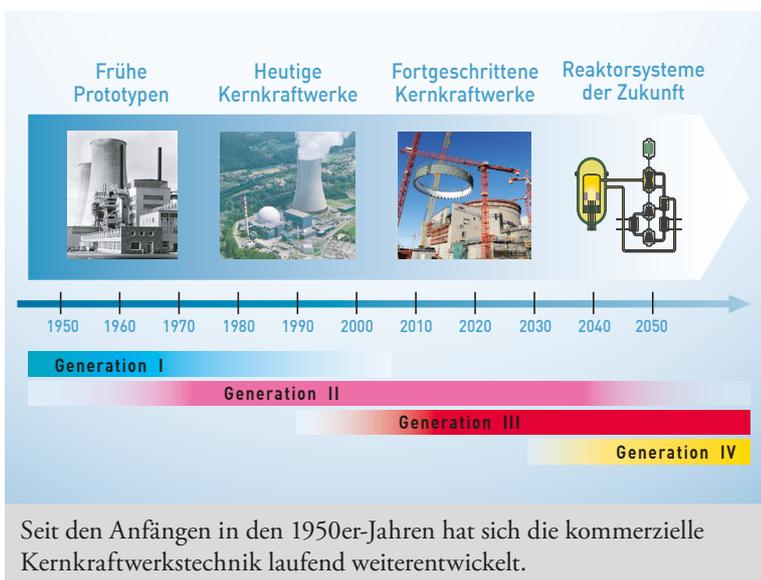
der 1950er-Jahre. Ihnen folgten die heute in der Schweiz und in zahlreichen weiteren Ländern in Betrieb stehenden kommerziellen Kernkraftwerke der zweiten Generation.

In der Schweiz sind diese Anlagen in den vergangenen Jahrzehnten laufend auf den Stand der modernen Sicherheitstechnik nachgerüstet worden. Technische Neuerungen wie auch Erfahrungen aus dem Betrieb und Lehren aus Störfällen erhöhen kontinuierlich das Sicherheitsniveau. Die jüngsten energiepolitischen Entscheide von Bundesrat, Parlament und Volk, wonach die Schweizer Kernkraftwerke trotz Ausstiegsbeschluss noch für Jahrzehnte weiter genutzt werden sollen, anerkennen diesen Leistungsausweis.

Antwort auf den Stromhunger

Parallel dazu sind in den letzten Jahrzehnten neue, fortgeschrittene Reaktortypen der dritten Generation entwickelt worden. Das hat mehrere Gründe:

- Die Nachfrage nach Strom nimmt weltweit laufend zu, besonders in bevölkerungsreichen Ländern wie China, Indien, den Staaten Südasiens und des Nahen Ostens. Nach Schätzungen der Internationalen Energie-Agentur der OECD dürfte die weltweite Stromnachfrage bis 2040 um mindestens 60% ansteigen, auch bei effizienterer Nutzung von Strom.
- Die Klimaschutzziele in vielen Ländern erfordern den Einsatz der treibhausgasarmen, umweltschonenden Kernenergie im Verbund mit erneuerbaren Energien.





Baustelle von zwei Druckwasserreaktoren vom fortgeschrittenen amerikanischen Typ AP1000 in Georgia, USA.

Foto: NRC

- Die Kernkraftwerke aus dem Boom der 1970er-Jahre nähern sich dem Ende ihrer wirtschaftlichen Betriebsdauer und müssen ersetzt werden.

Verbindung von Erfahrung und Innovation

Die beiden ersten Kernkraftwerke der fortgeschrittenen dritten Generation haben 1996 und 1997 in Japan den Betrieb aufgenommen. Modernste Typen sind inzwischen auch in China, Indien, im Iran, in Russland und in Südkorea am Netz. In Europa stehen in Frankreich, Finnland und Grossbritannien Kernkraftwerke modernster Bauart in Bau, ebenso in Bangladesch, China, Japan, Pakistan, Russland, Südkorea, der Türkei, in den USA, in den Vereinigten Arabischen Emiraten und in Weissrussland. In Ländern wie Aegypten, Polen oder Ungarn soll mit dem Bau solcher Anlagen in den kommenden Jahren begonnen werden.

Ihre Entwicklung hatte bereits in den 1980er-Jahren begonnen. Ausgangspunkt waren die Betriebserfahrungen mit den zuverlässigen Kernkraftwerken der zweiten Genera-

tion, wie auch die Erkenntnisse aus Unfällen wie im amerikanischen Kernkraftwerk Three-Mile-Island im Jahr 1979, bei dem es zu einer teilweisen Kernschmelze gekommen war.

Kernkraftwerke der dritten Generation sind so konzipiert, dass bei allen betrieblich vorstellbaren Unfällen keine massgeblichen Mengen radioaktiver Stoffe in die Umgebung freigesetzt werden und der Boden nicht auf Dauer kontaminiert wird. Die maximalen Auswirkungen dürfen für die Anwohner nicht grösser sein als bei anderen zivilisatorischen Risiken wie Chemieunfällen, Gasexplosionen oder Dammbrochen.

Passive Sicherheitssysteme

Bei den Reaktoren der Generation III wurde zum einen die Verlässlichkeit der Notkühlsysteme zur Verhinderung eines Kernschadens weiter verbessert. Ein Weg ist die Erhöhung der Zahl voneinander unabhängiger Systeme und ihr Schutzgrad gegen Einwirkungen von aussen wie Erdbeben, Überflutung oder Flugzeugabsturz.

Eine andere, sehr innovative Entwicklung der letzten Jahrzehnte sind die sogenannten passiven Sicherheitssysteme. Sie basieren auf Naturgesetzen wie beispielsweise der Schwerkraft. Im Unterschied zu aktiven Systemen benötigen sie keine Pumpen oder motorgetriebenen Ventile und erfüllen ihre Funktion ohne Energiezufuhr von aussen. Im Fall



In Taishan in China hat Ende Juni 2018 der weltweit erste EPR den Betrieb aufgenommen. Der zweite Block wird bald folgen.

Foto: CGN

einer schweren Störung sind je nach Reaktortyp für 12 bis 72 Stunden keine Eingriffe durch den Menschen nötig. Praktisch alle Reaktorsysteme der dritten Generation enthalten solche neuartigen Sicherheitssysteme.

Schutz auch bei Kernschmelze

Für den Fall, dass dennoch alle Schutzsysteme versagen sollten und es zu einem Kernschaden kommt – die Wahrscheinlichkeit ist bei der Generation III geringer als einmal in einer Million Jahren – werden Vorkehrungen eingebaut, damit die Kernschmelze sicher im Containment eingeschlossen bleibt und dort abgekühlt werden kann. Zudem werden die freiwerdenden flüchtigen radioaktiven Stoffe mit hoher Wirksamkeit in der Anlage zurückgehalten.

Die bereits im grundlegenden Design eingebaute Beherrschbarkeit der Folgen von Kernschäden ist das wichtigste Unterscheidungsmerkmal zwischen den Reaktoren der zweiten und jenen der dritten Generation. Der grosse Sprung in der Sicherheit von Kernkraftwerken hat mit der Entwicklung zur dritten Generation stattgefunden.

Anbieter in aller Welt

Die Reaktortypen der dritten Generation sind heute marktreif. Auf dem Weltmarkt bieten Hersteller aus Europa, Nordamerika, Ostasien und Russland solche Kernkraftwerke an. Bei den meisten handelt es sich um Weiterentwicklungen der sehr zuverlässigen und heute weit verbreiteten **Leichtwasserreaktoren** (siehe Tabelle auf Seite 4), wie sie auch in der Schweiz in Betrieb stehen.

Auch bei der Familie der **Schwerwasserreaktoren**, die im Unterschied zu den Leichtwasserreaktoren auch mit nicht angereichertem Uran betrieben werden können, befinden sich Systeme der dritten Generation in Vorbereitung.

In Entwicklung stehen zudem **kleine, sehr innovative Reaktoren (SMRs, Small Modular Reactors)**, die flexibel im Baukastensystem zu grossen Produktionseinheiten zusammgebaut werden können (siehe Faktenblatt «Reaktorsysteme der Zukunft» des Nuklearforums Schweiz).

Die Generation III im Licht von Fukushima

Das Unglück im japanischen Kernkraftwerk Fukushima-Daiichi wurde durch eine aussergewöhnlich heftige Naturkatastrophe ausgelöst. Nach einem Beben im Ozean überfluteten riesige Tsunamis die Anlage, die gegen dieses Risiko ungenügend geschützt war.

Aufgrund der Detailanalysen des Unfallablaufs sind am Design der Anlagen der Generation III keine grundlegenden Änderungen nötig. Die in Fukushima aufgetretenen Probleme wie Stromausfall, Verlust der Kühlfähigkeit und Wasserstoffexplosionen sind bereits in den 1980er-Jahren breit diskutiert worden und haben in der Schweiz zu umfangreichen Nachrüstungen geführt. Anders als in der Schweiz wurden diese Erkenntnisse in Japan nicht konsequent umgesetzt.

Aus sicherheitstechnischer Sicht sind die Kernkraftwerke der dritten Generation die bestehende Antwort auf den Unfall in Fukushima. Sie enthalten bereits heute alle jene Vorsorgemassnahmen, die in Japan zur Beherrschung des Unfalls fehlten. Daher dürften sich die Baukosten moderner Anlagen nach Fukushima nicht wesentlich erhöhen. Denkbar ist hingegen, dass die Kapitalkosten wegen einer grösseren Zurückhaltung der Finanzinstitute ansteigen könnten.

Nuklearforum Schweiz
Frohburgstrasse 20
4600 Olten
Telefon 031 560 36 50
info@nuklearforum.ch
www.nuklearforum.ch



Kursk, April 2018: Baustart des weltweit ersten WWER-TOI, der jüngsten Weiterentwicklung der russischen Druckwasserreaktoren der dritten Generation.

Foto: Rosatom

Leichtwasserreaktoren der dritten Generation (Auswahl, Stand 1. Februar 2019*)

System, Lieferant	Grösse	Status der Entwicklung	Merkmale
Druckwasserreaktoren			
AP1000 Advanced Passive Plant <i>Westinghouse</i>	~ 1100 MW	<ul style="list-style-type: none"> China: 4 Einheiten in Betrieb USA: 2 Einheiten in Bau; 2 Einheiten geplant Zertifiziert in den USA; vorgeprüft in Grossbritannien. 	Innovative Weiterentwicklung der amerikanischen Westinghouse-Reaktortechnologie: <ul style="list-style-type: none"> stark vereinfachte Konstruktion, modulare und kompakte Bauweise, kurze Bauzeit aktive und passive Sicherheitssysteme bei Störfällen passive Sicherheit während 3 Tagen ohne Eingriff von Operateuren Kernschmelze kann im Reaktordruckbehälter zurückgehalten werden; passive Abfuhr der Nachwärme
APR 1400 Advanced Power Reactor <i>Korea Hydro & Nuclear Power Co.</i>	1400 MW	<ul style="list-style-type: none"> Südkorea: 1 Einheit in Betrieb, 5 Einheiten in Bau Vereinigte Arabische Emirate: 4 Einheiten in Bau 	Weiterentwicklung des Systems 80+ der amerikanischen Combustion Engineering (C-E), vorgesehen als künftiger Standardreaktor in Südkorea: <ul style="list-style-type: none"> Konstruktion und Betrieb vereinfacht, Bauzeit verkürzt verbesserte Sicherheit verbesserte Wirtschaftlichkeit
ACPR1000 / ACP1000 / Hualong One Advanced Chinese Pressurized Water Reactor <i>China General Nuclear Power Corp. (CGN) / China National Nuclear Corp. (CNNC)</i>	1100 MW 1150 MW	<ul style="list-style-type: none"> ACPR1000 (CGN): 1 Einheit in China in Betrieb, 3 Einheiten in China in Bau ACP1000 (CNNC): 2 Einheiten in Pakistan in Bau, 1 Einheit geplant Hualong One (CGN/CNNC): 4 Einheiten in China in Bau 	Weiterentwicklungen der französisch-chinesischen Druckwasserreaktoren CPR1000 (CGN) und CP1000 (CNNC): <ul style="list-style-type: none"> aktive und passive Sicherheitssysteme Reaktorgebäude geschützt mit doppelter Betonschale ACPR1000: spezielle Ausbreitungsfläche zum Auffangen einer Kernschmelze und zur anschliessenden passiven Kühlung Hualong One: Kernschmelze kann im Reaktordruckbehälter zurückgehalten werden
EPR Evolutionary Pressurized Water Reactor <i>Areva</i>	~ 1600 MW	<ul style="list-style-type: none"> 1 Einheit in China in Betrieb 4 Einheiten in Bau: 1 in China, 1 in Finnland, 1 in Frankreich, 1 in Grossbritannien Grossbritannien: 1 Einheit bewilligt; 2 in Planung Baupläne in Indien Zertifizierung in den USA eingereicht 	Weiterentwicklung der heutigen französischen und deutschen Druckwasserreaktoren: <ul style="list-style-type: none"> Reaktorgebäude und zwei der vier Sicherheitsgebäude geschützt mit doppelter Betonschale spezielle Ausbreitungsfläche zum Auffangen einer Kernschmelze und zur anschliessenden passiven Kühlung vereinfachte Bauweise vereinfachte Bedienung und Wartung verbesserte Brennstoffeffizienz
WWER (AES-Reihe) russisch für wassergekühlter-wassermodifizierter-Energie-Reaktor <i>Rosatom</i>	1000 MW - 1200 MW	<ul style="list-style-type: none"> 4 Einheiten in Betrieb in China, 2 in Indien, 1 in Iran, 2 in Russland 11 Einheiten in Bau: 2 in Bangladesch, 2 in Indien, 4 in Russland, 1 in der Türkei, 2 in Weissrussland Baupläne in Ägypten, China, Finnland, Indien, Iran, Russland, Türkei, Ungarn 	Weiterentwicklung der russischen Druckwasserreaktor-Reihe: <ul style="list-style-type: none"> verbesserte Sicherheit aktive und passive Sicherheitssysteme spezielle Ausbreitungsfläche zum Auffangen einer Kernschmelze und zur anschliessenden passiven Kühlung verbesserte Brennstoffeffizienz
Atmea1 Evolutionary Pressurized Water Reactor <i>Areva / Mitsubishi Heavy Industries</i>	1000 MW - 1150 MW	<ul style="list-style-type: none"> Vorprüfung in Frankreich und Kanada bestanden Baupläne in der Türkei 	Kombination des EPR und der APWR-Technologie von Mitsubishi: <ul style="list-style-type: none"> spezielle Ausbreitungsfläche zum Auffangen einer Kernschmelze und zur anschliessenden passiven Kühlung aktive und passive Sicherheitssysteme verbesserte Brennstoffeffizienz
Siedewasserreaktoren			
ABWR Advanced Boiling Water Reactor <i>General Electric Hitachi / Toshiba</i>	1350 MW - 1600 MW	<ul style="list-style-type: none"> Japan: 4 Einheiten zurzeit im Betriebsstillstand 4 Einheiten in Bau: 2 in Japan und 2 in Taiwan Baupläne in Japan USA: 2 Einheiten bewilligt Zertifiziert in Grossbritannien und den USA 	Weiterentwicklung der Siedewasserreaktoren von General Electric: <ul style="list-style-type: none"> Konstruktion / Betrieb vereinfacht, reduzierte Baukosten, verkürzte Bauzeit erhöhte Sicherheit durch weiterentwickelte Sicherheitssysteme erhöhter Schutz gegen Einwirkungen von aussen verbesserte Brennstoffeffizienz
ESBWR Economic and Simplified Boiling Water Reactor <i>General Electric Hitachi</i>	~ 1500 MW	<ul style="list-style-type: none"> USA: 2 Einheiten bewilligt; Baugesuche für 6 Einheiten eingereicht, davon 4 suspendiert in den USA zertifiziert; vorgeprüft in Grossbritannien 	Innovative Weiterentwicklung des ABWR: <ul style="list-style-type: none"> vereinfachte Konstruktion, modulare Bauweise, kurze Bauzeit natürliche Zirkulation im Normalbetrieb (keine Umwälzpumpen) aktive und passive Sicherheitssysteme; bei Störfällen passive Sicherheit während 3 Tagen ohne Eingriff von Operateuren Kernschmelze kann im Containment zurückgehalten werden; passive Abfuhr der Nachwärme

* Aktueller Stand siehe Faktenblatt auf www.nuklearforum.ch